

Aplicações de Controladores “Fuzzy” na Petrobras

Mario Cesar Mello Massa de Campos, Dr.
Consultor Sênior da Petrobras
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – Cenpes
Cidade Universitária Q.7 Ilha do Fundão cep. 21941-598 Rio de Janeiro
E-mail: mariocampos@petrobras.com.br

Abstract

This paper presents several examples of application of fuzzy controllers in Petrobras. These systems valorise the people's knowledge (engineers and operators) in order to implement non-linear and on-line heuristic optimizers quickly.

1. Introdução

Os conhecimentos dos engenheiros e operadores na supervisão, no controle e na otimização das plantas industriais podem ser facilmente valorizados através da lógica “fuzzy”. Esta técnica permite rapidamente se construir sistemas não-lineares para a automação e a otimização heurística dos processos através de regras lingüísticas do tipo: {Se => Então}. Neste trabalho serão discutidos alguns exemplos de aplicação destes sistemas na Petrobras.

2. Conceitos de Lógica “Fuzzy”

O conceito de subconjuntos “fuzzy” permite modelar conhecimentos imprecisos através de uma transição suave entre dois subconjuntos diferentes. Este conceito foi introduzido por Zadeh (1965) para descrever sistemas complexos. Suas características principais são o uso de variáveis e relações lingüísticas no lugar de variáveis numéricas. Este fato facilita o desenvolvimento de sistemas “fuzzy” a partir das informações e conhecimentos dos seres humanos. Considere um universo de referência U , e uma função de pertinência definida pela seguinte equação: $A = \{[x, \mu_A(x)], x \in U\}$ e $\mu_A(x) \in [0,1]$

O termo $\mu_A(x)$ é conhecido como a função de pertinência de “A”, e varia entre 0 e 1, conforme o grau com que o elemento “x” pertence ao subconjunto

“A”. Pode-se definir a união, a intersecção e o complemento de dois subconjuntos “fuzzy”, A e B, conforme as equações [Zadeh, 1965]:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

Diferentemente da lógica clássica, a intersecção de um subconjunto “fuzzy” com o seu complemento não é um conjunto vazio. Para maiores detalhes sobre a lógica “fuzzy” sugere-se consultar os trabalhos de Dubois&Prade (1980) e Campos&Saito (2004).

Mandani e Assilian (1975) foram os primeiros pesquisadores a reconhecer o potencial da lógica “fuzzy” para lidar com sistemas imprecisos e levaram este conceito para a área de controle de processos. Esta abordagem considera que existem muitas informações qualitativas a respeito do processo e da sua operação que não são utilizadas nas abordagens clássicas, e que podem contribuir para um melhor desempenho e rentabilidade da planta industrial [Tong et al., 1980].

Nesta abordagem não é necessária uma modelagem da dinâmica da planta. Apenas o conhecimento de como se operar ou otimizar é requerido. Estas informações são implementadas através de um conjunto de regras lingüísticas, conhecidas como “Algoritmo de Controle Fuzzy”.

Portanto, este conjunto de regras permite valorizar os conhecimentos a respeito de uma “boa” operação da unidade industrial. Formalmente não se pode garantir que o sistema está no ponto “ótimo”, pois não se utilizou nenhum modelo, nem um algoritmo de otimização. Entretanto, na prática pode ser difícil de se construir e manter um modelo, ajustar os seus parâmetros, e rodar os otimizadores matemáticos. Logo, estes sistemas “fuzzy” podem ser uma opção rápida e simples de se construir otimizadores

heurísticos do processo. Um exemplo das regras do controlador para uma planta multivariável é mostrado a seguir:

Se ($A_1(1)K$ e $A_n(1)$) Então ($U_1(1) K$ e $U_m(1)$)
M

Se ($A_1(h)K$ e $A_n(h)$) Então ($U_1(h) K$ e $U_m(h)$)

Onde “ A_i ” são os subconjuntos “fuzzy” que representam as grandezas lingüísticas, tais como “temperatura do forno muito alta”. Os subconjuntos “ U_j ” são as saídas do sistema, como “pequena variação na válvula de vapor”. A figura 1 mostra um exemplo de dois subconjuntos para a variável temperatura: “alta” e “normal”.

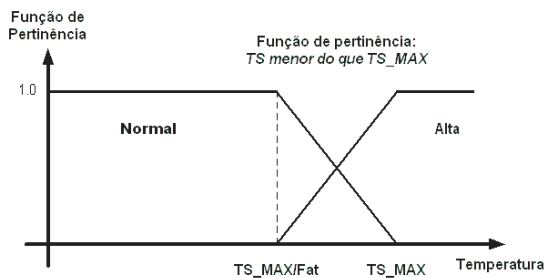


Figura 1 – Funções de pertinência do sistema.

Quando o sistema opera, ele calcula um valor entre 0 e 1 para as funções de pertinência de entrada e passa por todas as regras da base de conhecimento ativando quando necessário as saídas das regras. Esta inferência é feita normalmente utilizando o operador “min” para agregar antecedentes relacionados pela função “e”, e o operador “max” para a função “ou”. Após passar por todas as regras é feita uma decodificação, para se obter as saídas do controlador [Campos e Saito, 2004].

A seguir serão descritos quatro controladores “fuzzy” que foram desenvolvidos na Petrobras para otimizar o controle e a operação de suas unidades industriais.

3. Controlador Multivariável “Fuzzy” para Otimização da Operação de uma Plataforma de Produção de Petróleo

Um controlador “fuzzy” foi desenvolvido para a plataforma P-19, localizada na bacia de Campos no Rio de Janeiro (figura 2). Este sistema foi implementado acima do supervisor, lendo dados brutos e atuando na planta através do mesmo. O principal objetivo deste controlador é proporcionar um nível extra de controle para a planta, evitando que a mesma atinja os pontos de “trip” do sistema de

segurança, pois neste caso a produção será interrompida, com todas as perdas associadas. Por exemplo, uma das principais funções deste controle avançado é monitorar os níveis dos separadores de óleo. Obviamente, estes vasos já possuem controladores PID, que atuam em última instância nas válvulas das bombas de exportação de óleo da plataforma. Entretanto, por algum motivo estas bombas podem perder momentaneamente a capacidade de exportação, como no caso de haver uma parada de emergência (“trip”) em uma destas bombas, ou durante a partida da plataforma onde pode existir uma certa dificuldade em movimentar o óleo frio que estava armazenado no oleoduto. Portanto, quando os controladores PID perdem sua capacidade de controlar, os níveis podem subir e atingir o ponto de “trip” da plataforma parando totalmente ou parcialmente a produção, o que não é desejável.



Figura 2 – Plataforma P-19.

O controlador “fuzzy” neste caso vai perceber que o nível está subindo acima do esperado e vai atuar nas diversas válvulas de produção, seguindo uma prioridade definida pela operação, de maneira a compatibilizar a produção com a capacidade de exportação atual da plataforma. Este sistema também monitora o sistema de gás da plataforma, e pode minimizar a queima na tocha.

As variáveis controladas deste sistema são: o nível de cada separador da plataforma, o nível do vaso pulmão (“surge”), a pressão de cada separador e do gasoduto. As variáveis manipuladas são as aberturas de todas as válvulas “choke” de produção de óleo da plataforma. Cada uma destas válvulas de produção tem uma abertura máxima ideal, se tudo estiver normal, uma abertura mínima durante uma anormalidade, uma velocidade máxima de atuação e uma prioridade. Desta forma o sistema “fuzzy” atua prioritariamente nas válvulas definidas pelo operador. Também existe um botão que habilita ou não a atuação

do controlador sobre uma determinada válvula. Todos estes parâmetros são ajustados pelo operador na interface do sistema no supervisão.

Um simulador dinâmico simplificado da plataforma foi desenvolvido para se testar, pré-ajustar e validar o controlador “fuzzy”. Em seguida o sistema foi implantado na plataforma, e foi feita uma sintonia fina do mesmo.

O controlador “fuzzy” foi implementado em junho de 1999 na plataforma P-19. Os operadores apontaram na época as seguintes vantagens:

- Uma interface amigável, para configurar os parâmetros e prioridades de cada poço, com mensagens indicando o estado do sistema.
- Cada poço pode ser configurado separadamente (limites de aberturas, velocidade de atuação e prioridades), respeitando as características e restrições associadas com o seu reservatório.
- O sistema monitora várias variáveis da planta e atua nas válvulas de produção de maneira a evitar as paradas gerais de produção da plataforma.
- Permite uma partida mais suave com este controlador que automaticamente abre as “chokes” de produção.

A figura 3 mostra o desempenho do controlador durante uma partida da plataforma. Observa-se que em um certo instante o nível do vaso pulmão subiu consideravelmente e o controlador parou de abrir as válvulas de produção, dando tempo para os controladores PID corrigirem as perturbações. Quando o nível volta ao seu “setpoint”, o controlador “fuzzy” volta a abrir as válvulas de produção na velocidade desejada.

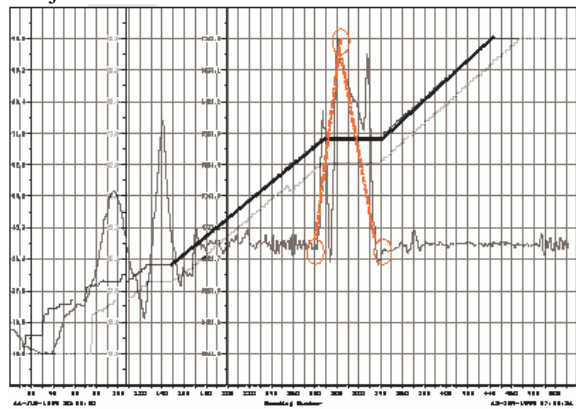


Figura 3 – Desempenho do Controlador.

O trabalho de Campos, Satuf e Mesquita (2001) mostra mais detalhes deste controlador “fuzzy” e do

sistema de partida automática da plataforma (MPA – Módulo de Procedimentos Automatizados), onde o mesmo estava inserido. Ele também mostra as interfaces de operação do sistema e a arquitetura de automação da plataforma.

O sistema foi implementado no MPA que atualmente tem uma nova versão [MPA-LUA, 2005].

4. Controlador “Fuzzy” alocando a Carga dos Fornos da Unidade de Destilação

A unidade de destilação de uma refinaria visa separar os diversos hidrocarbonetos presentes no petróleo nas diversas correntes de combustível, como gasolina e diesel. A figura 4 mostra uma foto de uma unidade de destilação.



Figura 4 – Unidade de destilação do petróleo.

Estas unidades de processamento possuem um nível de controle regulatório, compostos de PIDs, e uma camada de controle avançado, que utilizam os algoritmos de controle preditivo multivariável (CPM), de forma a executar a otimização da planta. A saída do CPM atua nos “setpoints” dos PIDs.

Este controlador preditivo tem duas funções básicas: otimizar a planta, respeitando as restrições e estabilizar o processo, considerando as interações entre as diversas variáveis.

No caso do controle avançado da Refinaria do Rio de Janeiro (REDUC) uma das variáveis de restrição era a máxima temperatura de parede dos tubos dos fornos (“skin”) desta unidade. Não se deve permitir que a unidade opere com estas temperaturas acima do limite metalúrgico do material dos tubos, pois neste caso existe risco de acidente.

Como existem sete fornos em paralelo, se algum deles estiver com a temperatura “skin” alta, o controlador preditivo (CPM) irá atuar na planta de forma a respeitar esta restrição, mas neste caso não estará mais otimizando a operação da mesma.

Desta forma, foi projetado um controlador “fuzzy” para em caso de temperatura “skin” alta em um forno diminuir a vazão de carga alocada para o mesmo, e aumentar a vazão para os outros fornos. Desta forma, para uma carga menor, aquele forno necessitará queimar menos combustível, levando a sua temperatura de parede dos tubos para uma região aceitável. Portanto, o controlador “fuzzy” se insere na arquitetura de automação da unidade, ajudando os outros sistemas (PIDs e CPM) a operarem de forma otimizada.

A carga dos fornos é definida por um controlador de nível no fundo da torre de “pré-flash”, e o controlador “fuzzy” atua nos “bias” das vazões de cada forno, exceto para o “H-102D”, que por estar configurado em outro controlador do SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído), não trabalha em cascata com o nível. A figura 5 mostra um esquemático do processo.

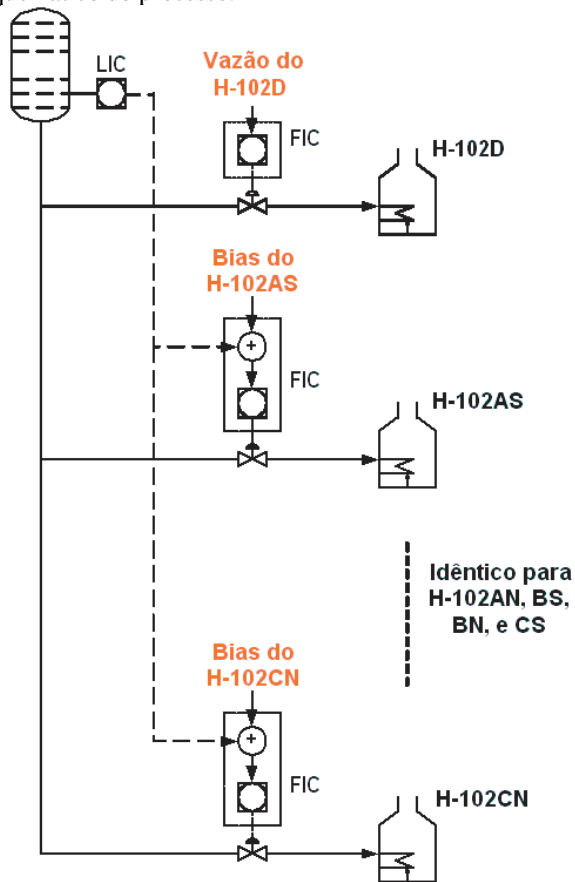


Figura 5 – Fornos da Unidade de Destilação.

Além do objetivo principal do controlador “fuzzy”, que é o de distribuir as cargas dos fornos de maneira a evitar que tenha um equipamento com temperatura de

“skin” acima de um certo valor, o sistema também tenta distribuir as cargas em operação normal de forma a equilibrar ou balancear as temperaturas “skins”.

O sistema “fuzzy” de alocação atua nos “bias” das vazões da carga de cada forno, sempre que o operador habilitar esta ação através de uma chave na interface do SDCD. Para o forno “H-102D”, o controlador “fuzzy” atua diretamente no “setpoint” do controlador de vazão, sempre que o operador habilitar colocando o mesmo em modo “computador”.

Para o controlador “fuzzy” estar ativo, arbitrou-se que pelo menos quatro (4) dos sete (7) fornos estivessem habilitados para escrita. Neste caso o controlador indica no SDCD que está operacional. Caso contrário, ele indica que não está ativo e aguarda que o operador habilite a ação em pelo menos quatro fornos.

Este controlador “fuzzy” terá portanto: 21 variáveis de entrada, 7 variáveis de saída e 29 parâmetros. As entradas são as temperaturas “skin” dos fornos, uns valores binários indicando se o forno “i” está habilitado, e outro indicando se o sistema está saturado no máximo (não se pode aumentar a carga deste forno, pois o combustível ou a vazão já atingiu o máximo) ou no mínimo. A seguir serão mostradas as regras utilizadas pelo controlador.

- **SE** {(Temperatura “Skin” do forno “i”) é ALTA} e {(Forno “i”) está HABILITADO)} e {(Restrição do forno “i”) não é MÍNIMA} **ENTÃO** {Diminuir a carga do forno “i” de forma rápida}
- **SE** {(Temperatura “Skin” do forno “i”) está acima da (Média das temperaturas “skin”)} e {(Forno “i”) está HABILITADO)} e {(Restrição do forno “i”) não é MÍNIMA} **ENTÃO** {Diminuir a carga do forno “i” de forma lenta}
- **SE** {(Temperatura “Skin” do forno “i”) está abaixo da (Média das temperaturas “skin”)} e {(Forno “i”) está HABILITADO)} e {(Restrição do forno “i”) não é MÁXIMA} **ENTÃO** {Aumentar a carga do forno “i” de forma lenta}

A primeira regra, monitora para cada forno a maior temperatura de “skin” e caso ela esteja alta o controle diminui a vazão de carga para este forno de forma rápida. As regras 2 e 3, tentam balancear as temperaturas “skins” dos fornos alocando as suas respectivas carga. A temperatura “skin” média é calculada apenas para os fornos que estão com as suas chaves habilitadas pelo operador no SDCD.

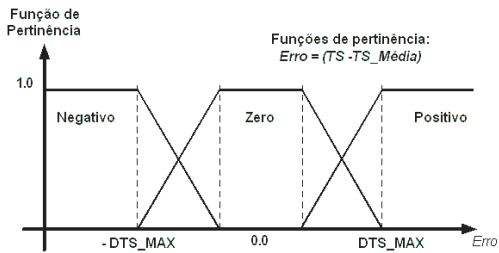


Figura 6 – Funções de Pertinência do Sistema.

Existe também no controlador “fuzzy” um pós-processamento que visa minimizar as perturbações no controle de nível da torre “pré-flash”. A figura 6 mostra as funções de pertinência para verificar se a temperatura “skin” está acima ou abaixo da média.

5. Otimização Heurística da Injeção de Vapor em uma Unidade de Destilação

Uma unidade de destilação de petróleo necessita injetar vapor em vários pontos para facilitar a separação da sua carga nos diversos produtos. A quantidade de vapor a ser injetado depende do tipo de campanha da Unidade, isto é, se em um determinado momento se deseja produzir preferencialmente um produto “1”, a quantidade de vapor é diferente daquela quando se deseja produzir em maior quantidade o produto “2”.

Além disto, todo este vapor injetado irá vira água que deverá ser tratada na unidade de águas ácidas da refinaria. Portanto, o operador também deve se preocupar com a capacidade máxima de vazão de água para esta unidade de tratamento. Caso esta vazão máxima seja atingida então se deve minimizar a injeção de vapor na unidade de destilação, pois não existe mais capacidade de tratar este efluente.

Como o vapor utilizado é superaquecido em um forno, também existe um controlador PID que monitora a temperatura máxima de saída deste vapor do forno e abre um alívio para a atmosfera em caso de temperatura alta, aumentando a vazão de vapor no forno e diminuindo a sua temperatura. Desta forma, evita-se que a temperatura atinja um valor limite para a resistência do material dos tubos.

Os problemas que ocorrem neste sistema é que muitas vezes o operado esquece, em função de outras atividades prioritárias, de ajustar adequadamente as várias vazões de vapor em função do tipo de campanha. Isto pode acarretar em certos momentos tanto um desperdício de água, quanto em outros uma falta de vapor e perda da qualidade dos produtos.

A interação entre a unidade de destilação com a unidade de tratamento de águas ácidas também pode ser esquecida em um certo momento, gerando uma dificuldade no tratamento e uma possível contaminação da água que será descartada.

Em outras ocasiões, o sistema pode estar desperdiçando vapor para a atmosfera, pois a vazão de vapor para a unidade pode estar ajustada em um valor muito baixo, e os controladores que protegem a temperatura máxima de saída de vapor dos fornos podem estar aliviando vapor para a atmosfera.

Foi elaborado então, um controlador “fuzzy” para automatizar este procedimento. O objetivo deste controlador é seguir uma estratégia de otimizar as várias injeções de vapor na planta em função da campanha da unidade.

Este controlador irá respeitar as seguintes restrições:

- A carga de água ácida para a unidade de tratamento não poderá ser superior a um valor máximo.
- Se possível não se deve deixar as válvulas de alívio de vapor abertas na saída dos fornos para a atmosfera.
- Respeitar as vazões máximas e mínimas para cada injeção de vapor.
- Respeitar as razões máximas e mínimas entre as vazões de vapor e de produto associado para cada injeção de vapor.

A seguir serão detalhadas as variáveis de entrada, de saída e os parâmetros de ajuste do controlador “fuzzy”. As variáveis de entrada do controlador “fuzzy” são:

- Saídas dos controladores de temperaturas de vapor dos fornos.
- Vazões de vapor injetadas na planta.
- Vazões de produtos associados.
- Vazão de carga da unidade de tratamento.
- Chave digital que identifica a campanha de cada produto.

As variáveis de saída do controlador “fuzzy” são:

- “Setpoints” para os controladores das vazões de vapor injetadas na planta.

Por exemplo, quando se desejar enviar “nafta pesada” (NP) para petroquímica, o objetivo será o de minimizar a sua injeção de vapor, mas quando se desejar enviar esta corrente para diesel, então o objetivo será o de maximizar esta injeção de vapor.

Para cada uma das outras correntes da unidade (querosene, diesel leve, etc.) deve definir os objetivos para a otimização heurística do vapor assim como os batentes de vazões e razões máximos e mínimos.

6. Controle “Fuzzy” para Balanceamento dos Passes de um Forno

Este controlador “fuzzy” foi desenvolvido para o balanceamento dos passes do forno de carga da Unidade de destilação a vácuo da LUBNOR – Unidade de Lubrificantes do Nordeste, em Fortaleza. O objetivo deste sistema é o balancear as temperaturas de processo na saída dos passes do forno, caso as temperaturas “skin” e sua respectiva dispersão estejam aceitáveis. A idéia por detrás deste controlador “fuzzy” é a de tentar maximizar o aproveitamento energético do forno. Isto é, se existe um passe do forno que está mais eficiente, então se deve tentar aumentar a vazão pelo mesmo. O sistema irá manipular as válvulas manuais (HVs) dos passes de forma a atingir o seu objetivo.

A seguir serão detalhadas as variáveis de entrada, de saída e os parâmetros de ajuste do controlador “fuzzy”. Não foram utilizadas as medições das vazões dos passes, pois elas não são precisas em função do escoamento bifásico neste ponto do processo. As variáveis de entrada do controlador “fuzzy” do forno são as seguintes:

- Temperaturas de “skin” do passe 1 (TS1)
- Temperaturas de “skin” do passe 2 (TS2)
- Temperatura de processo do passe 1 (TP1)
- Temperatura de processo do passe 2 (TP2)
- Abertura atual da válvula HV do passe 1 (U1)
- Abertura atual da válvula HV do passe 2 (U2)

As variáveis de saída do controlador “fuzzy” são:

- Nova abertura da válvula HV do passe 1 (U1)
- Nova abertura da válvula HV do passe 2 (U2)

As variáveis ou fatores de ajuste do controlador são:

- Posição máxima e mínima de abertura das válvulas HV dos passes (HV_MAX e HV_MIN).
- As temperaturas de skin devem ser menores que TS_MAX.
- A dispersão das temperaturas de skin deve ser menor do que DTS_MAX.
- A dispersão aceitável das temperaturas de processo deve ser menor do que DTP_MAX.

Existirão dois ganhos para a sintonia do controlador:

- Ganho (K1) para a válvula HV-01.
- Ganho (K2) para a válvula HV-02.

Algoritmos Gerais do Controlador “Fuzzy”

A seguir serão mostradas as regras utilizadas pelo controlador. Caso as temperaturas de “skin” estejam normais e a dispersão das mesmas também, então o controlador executa um conjunto de regras (REGRAS 1) com o objetivo de balancear as temperaturas de processo dos passes (TP1 e TP2).

Mas se a dispersão das temperaturas de “skin” estiver muito alta, então o controlador executará um outro conjunto de regras (REGRAS 2) com o objetivo de balancear as temperaturas de “skin” (TS1 e TS2).

E prioritariamente, se uma temperatura “skin” de um passe estiver muito alta, então o controlador executará um outro conjunto de regras (REGRAS 3) com o objetivo de trazer esta temperatura para um valor aceitável (TS1 e TS2).

Portanto, este controlador “fuzzy” possui três objetivos e algoritmos de controle diferentes em função do ponto de operação da planta, e deve prioritariamente seguir a estratégia mais adequada em um certo momento.

As regras do controlador têm como filosofia operar preferencialmente com uma válvula HV toda aberta e com a outra estrangulada até um valor máximo definido pelo algoritmo.

Algoritmo Geral do Controlador “Fuzzy”

1. Calcular a temperatura máxima de skin do passe 1:

$$TS1 = \max(TS1(i))$$

2. Calcular a temperatura máxima de skin do passe 2:

$$TS2 = \max(TS2(i))$$

SE { TS1 menor que TS_MAX } e { TS2 menor que TS_MAX }

ENTÃO

SE {abs(TS1 – TS2) menor que DTS_MAX}

ENTÃO

- Aplicar conjunto de REGRAS 1 (balancear processo).

SENÃO

- Aplicar conjunto de REGRAS 2 (balancear “skins”).

SENÃO

- Aplicar conjunto de REGRAS 3 (controlar “skins”).

FIM

A figura 7 mostra esquematicamente que o controlador “fuzzy” passa automaticamente de um objetivo para o outro em função do estado atual de operação do processo. Desta forma ele segue uma priorização definida durante o projeto para otimizar a planta industrial.

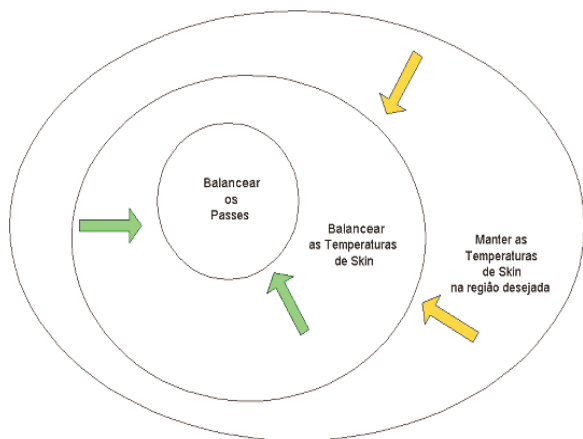


Figura 7 – Controle “fuzzy” com múltiplos objetivos.

A implantação deste sistema foi feita através do ambiente de controle avançado da Petrobras - SICON [Moro, 2000].

7. Conclusão

Como foi mostrado neste artigo a grande vantagem destes controladores “fuzzy” é poder implementar de forma simples e rápida uma estratégia de otimização heurística para um processo industrial. Valorizando desta forma os conhecimentos dos operadores e engenheiros das unidades de como operar de forma mais segura e rentável.

Estes controladores “fuzzy” também tem um grande potencial para automatizar certos procedimentos de partida, de forma a aumentar a segurança e a eficiência destes procedimentos.

Como também foi mostrado neste artigo estes sistemas de controle “fuzzy” não competem, mas sim complementam, os diversos sistemas convencionais e avançados de controle, automação e otimização de processos já existentes na planta. Cada uma destas ferramentas possui vantagens dependendo do tipo de aplicação, logo o ideal é integrar todos estes algoritmos na arquitetura de otimização de uma planta industrial.

Com o crescimento da complexidade dos processos e uma maior pressão por segurança, qualidade, rentabilidade e meio ambiente, os operadores estão cada vez mais sobre-carregados, com todos os riscos associados a este excesso de funções [Lien e Perris, 1996]. Por isto, ferramentas como os controladores “fuzzy” que permitem valorizar os conhecimentos e automatizar as decisões irão estar cada vez mais presentes nos ambientes industriais para auxiliar estes operadores nas suas funções de controle, automação e otimização dos processos.

8. Referências Bibliográficas

- [1] Campos, M.M., e Saito, K. “Sistemas inteligentes em controle e automação de processos”, Ed. Ciência Moderna/Petrobrás, Rio de Janeiro, Brasil (2004).
- [2] Campos, M., Satuf, E. e Mesquita, M, “Intelligent system for start-up of a petroleum offshore platform”, ISA Transactions 40 – pp.283-293, (2001).
- [3] Dubois D., e Prade H, “Fuzzy sets and systems: Theory and Applications”, Academic Press, New York (1980).
- [4] Lien, K. e Perris, T., “Future directions for cape research perceptions of industrial needs and opportunities”, Comp.Chem.Engng., V. 20, suppl., pp.s1551-s1557, (1996).
- [5] Mandani E.H., e Assilian S., “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller”, Int. J. Man-Machine Studies, 7, 1-13, (1975).
- [6] Moro, L., “SICON - Uma solução cliente - servidor para o controle avançado”, INFTEL, Petrobras (2000).
- [7] Tong R.M., Beck M.B., and Latten A., “Fuzzy control of the activated sludge wastewater treatment process”, Automatica, 16, 659-701, (1980).
- [8] Tutorial MPA-LUA, Petrobras (2005).
- [9] Zadeh L.A., “Fuzzy Sets”, Information and Control, 8, 338-353, (1965).

Agradecimentos

Aos engenheiros, técnicos e operadores das Unidades da Petrobras e das Universidades que participaram direta ou indiretamente no projeto e na implantação destes sistemas “fuzzy”.